

UDC 621.31-21

SCOPUS CODE 2102

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2022-2-81-87>

## საბაზისო თბოელექტროსადგურებით ელექტროსისტემის სიმძლავრის რეგულირების ამოცანა

- თემურ მიქიაშვილი** თბოენერგეტიკისა და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77  
E-mail: temurmikiashvili@yahoo.com
- ომარ კიდურაძე** თბოენერგეტიკისა და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77  
E-mail: kiguradzeomar@gmail.com
- ზაადურ ჩხაიძე** თბოენერგეტიკისა და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77  
E-mail: bchkhaidze@yahoo.com

### რეცენზენტები:

- თ. მუსელიანი**, სტუ-ის ენერგეტიკის ფაკულტეტის პროფესორი  
E-mail: museliani@yahoo.com
- მ. რაზმაძე**, სტუ-ის ენერგეტიკის ფაკულტეტის პროფესორი  
E-mail: marina.razmadze30@mail.ru

**ანოტაცია.** ელექტროენერგეტიკულ სისტემებში, რომლებშიც დიდია სეზონური ჰიდროელექტროსადგურების წილი ელექტროენერჯის საერთო გამომუშავებაში და არ არის ორგანულ სათბობზე მომუშავე მანევრული ენერგობლოკების განვითარებული სტრუქტურა, საჭირო ხდება საბაზისო ელექტროსადგურების გამოყენება სისტემის სიმძლავრის (დატვირთვის) სადღეღამისო რეგულირებისთვის. აღნიშნული ამოცანის ოპტიმალური გადაწყვეტისთვის სტატიის ავტორების მიერ შემოთავაზებულია

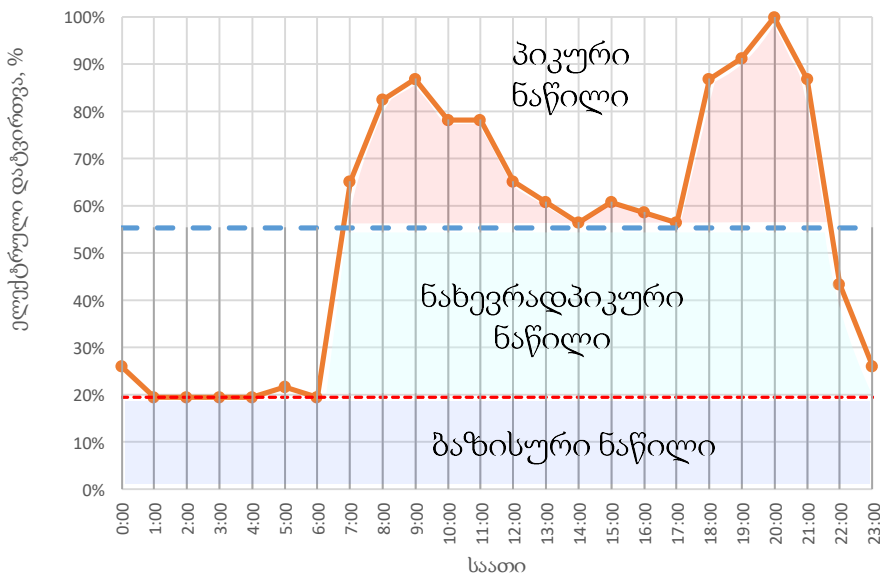
ფორმულა, რომლითაც შესაძლებელია ფულადი და-ნახარჯების შეფასება ელექტროსისტემის სიმძლავრის მართვის სხვადასხვა სცენარისას. ის ითვალისწინებს იმპორტირებული და ადგილობრივი თბოელექტროსადგურებით გამომუშაებული ელექტროენერჯის ფასების მდგენელებს და განსაზღვრავს მთავარ მოთხოვნას თბოელექტროსადგურების ეფექტიანობისა და რეგულირების დიაპაზონის მიმართ, რომლის დაკმაყოფილებაც განაპირობებს სახსრების დაზოგვას ელექტროენერჯის იმპორტის შემცირების ხარჯზე.

**საკვანძო სიტყვები:** განტვირთვა; დანადგარი; ელექტროსისტემა; ენერგობლოკი; თბოსაცავი; კომბინირებული; ციკლი.

რომლებშიც მკვეთრია დატვირთვის სადღეღამისო არათანაბრობა (ცვლილება) და, ამასთანავე, არ არის მანევრული ენერგობლოკების საკმარისი სიმძლავრე. ამოცანა რთულდება სეზონური ჰეს-ებით მდიდარი სისტემებისთვის [1]. მათი მდგომარეობა ზამთარში დეფიციტურია, ზაფხულში – პროფიციტური. ასეთია საქართველოს ელექტროსისტემაც, რომლის დატვირთვის პირობითი სადღეღამისო გრაფიკი ნაჩვენებია 1-ელ სურ-ზე.

**შესავალი**

საბაზისო თეს-ებით სიმძლავრის რეგულირების ამოცანა დგება ისეთი ელექტროსისტემებისთვის,



**სურ.1. ელექტრული სისტემის დატვირთვის პირობითი სადღეღამისო გრაფიკი**

გამართული სტრუქტურის (საკმარისი სიმძლავრეებისა და მიზნობრივი დანადგარების) ელექტროსისტემებში ასეთი გრაფიკის ბაზისურ ნაწილს ფარავენ მძლავრი ორთქლტურბინული და აირტურბინული დანადგარებით, ასევე ატომური ელექტროსადგურებით (არსებობის შემთხვევაში), ხოლო ნახევრად პიკურ და პიკურ ნაწილებს – მანევრული

დანადგარებითა და სადგურებით: ჰეს-ებით, ჰიდროსაკუმულაციო სადგურებით (ჰაეს), საშუალო და მცირე სიმძლავრის აირტურბინული ენერგობლოკებით, ასევე მაღალი მობილურობის სპეციალური ორთქლტურბინული დანადგარებით და სხვა. სადღეღამისო გრაფიკის ასეთი უზრუნველყოფა განიხილება როგორც ოპტიმალური. მაგრამ, თუ ელექტრო-

სისტემაში არ არის ზემოაღნიშნული ტიპის დანადგარები (არაადეკვატურია გენერაციის სტრუქტურა) ან მათი სიმძლავრებით ვერ ხერხდება სადღეღამისო გრაფიკის სრულყოფილი უზრუნველყოფა, მაშინ ელექტროსისტემის სიმძლავრის რეგულირებაში რთავენ თბოელექტროსადგურების (თეს) საბაზისო ენერგობლოკებს.

დატვირთვის სადღეღამისო რეგულირებისთვის თეს-ების ოპტიმალური გამოყენება ერთდროულად ტექნიკური და ეკონომიკური ამოცანაა. ამოცანის ტექნიკური ნაწილია თეს-ების ენერგობლოკების განტვირთვისა და გადატვირთვის შესაძლებლობების გაფართოება [2] (მანევრულობის გაუმჯობესება), ხოლო ეკონომიკური – ფულადი სახსრების დაზოგვა სათბობის (განსაკუთრებით იმპორტირებული სათბობის) დაზოგვის ხარჯზე.

ეკონომიკური ამოცანა განსაკუთრებით საინტერესოა დეფიციტური (ან სეზონურად დეფიციტური) ელექტროსისტემებისთვის, რომლებშიც იყენებენ იმპორტირებულ სათბობსა და/ან ელექტროენერჯიას. ამ დროს პიკური დატვირთვების დაფარვისთვის საჭირო ხდება ეკონომიკურად გამართლებული გადაწყვეტილების მიღება იმის შესახებ, თუ რა უფრო იაფია – თეს-ების ენერგობლოკების სიმძლავრის ფორსირება (ტექნიკური შესაძლებლობების საზღვრებში), რაც იწვევს სათბობის „გადახარჯვას“, თუ ელექტროენერჯიის პირდაპირი იმპორტი მეზობელი ელექტროსისტემებიდან (როდესაც არსებობს ამის ტექნიკური შესაძლებლობა). ეს, ერთი შეხედვით მარტივი ამოცანა, უნდა გადაწყდეს კონკრეტული ელექტროსისტემისა და დატვირთვის კონკრეტული

გრაფიკისთვის სათბობისა და იმპორტირებული ელექტროენერჯიის ფასების გათვალისწინებით.

## ძირითადი ნაწილი

### სიმძლავრის რეგულირების ეკონომიკური

#### ამოცანა

სიმძლავრის რეგულირების ეკონომიკური ამოცანა ითვალისწინებს იაფი ან ოპტიმალური<sup>1</sup> ვარიანტის ამორჩევას ელექტროსისტემის სიმძლავრის სადღეღამისო რეგულირების შესაძლო სცენარებიდან. ამისათვის შესაძლებელია სხვადასხვა ეკონომეტრული კრიტერიუმის გამოყენება, მაგრამ სანდო და სწრაფი გადაწყვეტილების მისაღებად (მაგალითად, მართვის „ნატურალურ“ დროში) საჭიროა მარტივი, საკმარისი სიზუსტისა და თვალსაჩინო კრიტერიუმით მანიპულირება. ასეთის როლში ქვემოთ შედგენილი და შემოთავაზებულია ფორმულა, რომლითაც შესაძლებელია სადღეღამისო დანახარჯების შეფასება თეს-ებით ელექტროსისტემის რეგულირების ამოცანებში. ის საშუალებას იძლევა განსახილველ ვარიანტებს შორის შეირჩეს რეგულირების უიაფესი ვარიანტი.

ფორმულის შედგენის ლოგიკა განვიხილოთ ელექტროსისტემის რეგულირების სამი სცენარის მაგალითზე:

1. ბაზისური თეს-ები მუშაობს მუდმივი – ნომინალური სიმძლავრით ( $N_n$ ) დღე-ღამის განმავლობაში; დეფიციტის ზონის ნაწილი იფარება პიკური ჰეს-ებით, რომელთა ზღვრული სადღეღამისო გამომუშავება (მიმდინრე სეზონზე,

<sup>1</sup> იაფი ვარიანტი ყოველთვის არ არის ოპტიმალური.

მაგალითად, ზამთარში) შეადგენს  $E_{HP}$  კილოვატსაათს (სურ. 2, ა);

2. ბაზისურ თეს(ებ)-ს განტვირთვავენ ღამის განმავლობაში (22-დან 06 საათამდე), რითაც ზოგავენ იმპორტირებულ სათბობს. სანაცვლო  $E_1$  ენერჯიას იღებენ პიკური ჰეს-ებით, რაც დღის განმავლობაში აკლდება პიკურ ნაწილს (06-დან 14 და 17-დან 22 საათამდე); დღის განმავლობაში (06-დან 22 საათამდე) ბაზისური თეს-ები აგრძელებენ ნომინალური სიმძლავრით მუშაობას (სურ. 2, ბ);
3. ბაზისურ თეს-ებს განტვირთვავენ ღამის (22-დან 06 საათამდე) განმავლობაში და ორჯერ გადატვირთვავენ (გაზრდიან სიმძლავრეს ნომინალურზე მეტ  $N_2$  და  $N_4$  მნიშვნელობამდე) დღის განმავლობაში – 06-დან 22 საათამდე პერიოდში; 14-დან 17 საათამდე თეს-ები მუშაობენ ნომინალურ რეჟიმში ( $N_n$ ) (სურ. 2, გ).

სცენარები შევადართ სათბობის დანახარჯებისა და იმპორტირებული ელექტროენერჯიის ღირებულების მიხედვით. ამ დროს დავუშვათ, რომ სხვა საოპერაციო დანახარჯი (ცვლადი და ფიქსირებული) განსახილველ ვარიანტებში თანაბარია.

დავიწყოთ დანახარჯების ზოგადი ფორმულით.

თეს-ის ენერგობლოკში  $N$  ელექტრული სიმძლავრის მისაღებად საჭიროა სათბობის დაწვის შედეგად გამოყოფილი  $Q$  სითბური სიმძლავრის მოხმარება. ენერგობლოკის სითბური ეფექტიანობა (სითბური ენერჯიის ელექტრულად გარდაქმნის მარგი ქმედების კოეფიციენტი) განისაზღვრება  $\eta = N/Q$  შეფარდებით. ცნობილია, რომ  $\eta$  მაქსიმალურია ენერგობლოკის ნომინალური სიმძლავრით ( $N_n$ ) მუშაობისას და მცირდება როგორც ნომინალურზე მეტი, ისე

მასზე ნაკლები სიმძლავრის დროს. სხვა სიტყვებით,  $\eta$  არის  $N$ -ის ფუნქცია –  $\eta(N)$ , რომლის მაქსიმუმიც დგება  $N_n$ -ზე. ენერგობლოკის მუშაობისას  $d\tau$  დროში მოხმარებული სათბობის სითბური ენერჯია  $d\bar{Q} = Qd\tau$ , ხოლო დღე-ღამის განმავლობაში (24 საათში) დახარჯული სითბო:  $\bar{Q} = \int_0^{24} Qd\tau = \int_0^{24} \frac{N}{\eta(N)} d\tau$ . როდესაც ცნობილია სათბობის  $Q_{LHV}$  (კვ/კმ ან კვ/მ<sup>3</sup>) თბოუნარიანობა და  $c_F$  (ლარი/კვ ან ლარი/მ<sup>3</sup>) ფასი, მისი სადღეღამისო მარაგის შესაძენად საჭირო დანახარჯია:  $E_{XF} = c_F \frac{\bar{Q}}{Q_{LHV}} = \frac{c_F}{Q_{LHV}} \int_0^{24} \frac{N}{\eta(N)} d\tau$  (ლარი/დღ.-ლ). თუ ამავე პერიოდში ელექტროსისტემა იღებს  $E_1$  ენერჯიას იმპორტის სახით, რომლის ღირებულებაა  $E_{Xim}$  (ლარი/დღ.-ლ), მაშინ ჯამური დღელამური დანახარჯი

$$E_X = E_{XF} + E_{Xim} = \frac{c_F}{Q_{LHV}} \int_0^{24} \frac{N}{\eta(N)} d\tau + E_1 c_{im}, \text{ ლარი/დღ.-ლ,}$$

სადაც  $c_{im}$  არის იმპორტირებული ელექტროენერჯიის ფასი, ლარი/(კვტ\*სთ).

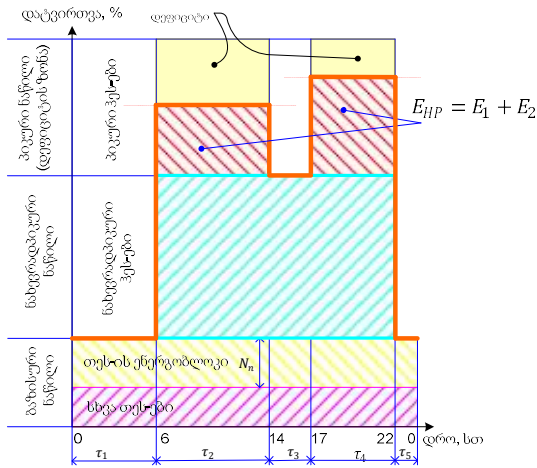
ბოლო ფორმულა თავისი შინაარსით არის ელექტროსისტემის სადღეღამისო რეგულირების ეკონომიკური მიზანშეწონილობის კრიტერიუმი, რომელიც შეგვიძლია გამოვიყენოთ განსხვავებული სცენარების შედარებისთვის (ჩვენი დაშვების ფარგლებში).

ზემოთ ჩამოთვლილი ა, ბ და გ სცენარებისთვის მიზანშეწონილობის ფორმულა შეგვიძლია ჩავწეროთ მე-2 სურ-ზე მითითებული აღნიშვნების გამოყენებით:

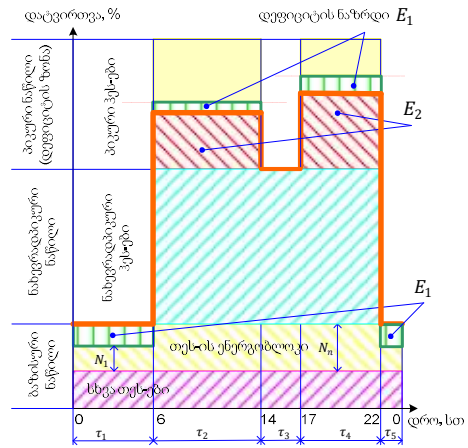
$$E_{Xa} = \frac{c_F}{Q_{LHV}} \frac{N_n}{\eta_n} \sum_1^5 \beta \tau_i,$$

$$E_{Xb} = \frac{c_F}{Q_{LHV}} \left[ \frac{N_1}{\eta_1} (\tau_1 + \tau_5) + \frac{N_n}{\eta_n} \sum_2^4 \tau_i \right] + E_1 c_{im},$$

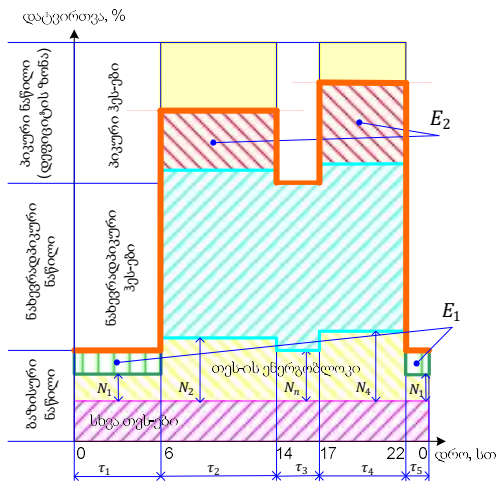
$$E_{Xc} = \frac{c_F}{Q_{LHV}} \times \left[ \frac{N_1}{\eta_1} (\tau_1 + \tau_5) + \frac{N_2}{\eta_2} \tau_2 + \frac{N_n}{\eta_n} \tau_3 + \frac{N_4}{\eta_4} \tau_4 \right] \text{ლარი/დღ.-ლ.}$$



ა) თეს-ის ენერჯობლოკი დღე-ღამის განმავლობაში მუშაობს ნომინალური ( $N_n$ ) სიმძლავრით – საბაზისო რეჟიმში



ბ) თეს-ის ენერჯობლოკი ღამით განტვირთულია ( $N_1 < N_n$ ); დღე მუშაობს ნომინალური სიმძლავრით; ღამის დატვირთვა შეესაბამება პიკური ჰეს-ების გამომუშავებით ( $E_1$ ); დღის დეფიციტი ( $E_1$ ) შევსებულია იმპორტირებული ელექტროენერჯით



გ) თეს-ის ენერჯობლოკი ღამით განტვირთულია ( $N_1 < N_n$ ); დღე მუშაობს ფორსირებული  $N_2 > N_n$  და  $N_4 > N_n$  სიმძლავრით, ასევე ნომინალური  $N_n$  სიმძლავრით

სურ. 2. ელექტროსისტემის სადღეღამისო დატვირთვის რეგულირება თბოელექტროსადგურის ენერჯობლოკ(ებ)ით (პირობითი სქემა)

მიღებული გამოსახულებებიდან ჩანს, რომ ელექტროსისტემის სიმძლავრის რეგულირების ღირებულება სათბობისა და იმპორტირებული ელექტროენერჯის ფასებთან ერთად მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული დროის  $\tau_i$  ხანგრძლივობებსა და  $\frac{N}{\eta(N)}$  ფარდობებზე. ეს ფაქტი განსაზღვრავს თეს-ების ენერჯობლოკების კვლევის მთავარ მიმართულებას

სიმძლავრის რეგულირებაში მისი გამოყენების მიზანშეწონილობის თვალსაზრისით და გვეკარნახობს, რომ საჭიროა ენერჯობლოკების განტვირთვისა (სიმძლავრის შემცირებისა) და გადატვირთვის (სიმძლავრის ფორსირების) ისეთი მეთოდების, რეჟიმებისა და სქემების შემუშავება, რომლებსაც თვისაგ მინიმალურია  $N/\eta(N)$  ფარდობა ან, სხვა სი-

ტყვეებით, მინიმალურია მარგი ქმედების კოეფიციენტის გაუარესება ნომინალური სიმძლავრიდან გადახრის პირობებში. მეორე მხრივ, ენერგობლოკის მანევრულობა უნდა იძლეოდეს მისი მუშაობის რეჟიმების ცვლილების შესაძლებლობას დროის  $\tau_i$  შუალედებთან შესაბამისობაში.

### სიმძლავრის რეგულირების ტექნიკური ამოცანა

ელექტროსისტემების რეგულირებაში თეს-ების გამოყენების ამოცანის ტექნიკური ნაწილი, როგორც აღვნიშნეთ, ითვალისწინებს ბაზისური ენერგობლოკების მანევრულობის გაუმჯობესებას (დატვირთვის ცვლილების დიაპაზონისა და სიჩქარის გაზრდას). თუმცა საჭიროა და, ხშირად აუცილებელიც, რომ ეს იმავდროულად თავსებადი იყოს რეგულირების ეკონომიკურ მიზანშეწონილობასთან.

დღეისათვის ბაზისური ენერგობლოკების (ძირითადად ორთქლტურბინულის) მონაწილეობა ელექტროსისტემის რეგულირებაში იფარგლება სიმძლავრის ფორსირებით მაღალი წნევის რეგენერაციული შემთბობების ამორთვის ხარჯზე [3] (როდესაც ართმევიბიდან გამოთავისუფლებული ორთქლი გადამისამართდება ტურბინის სადენ ნაწილში) და სიმძლავრის შემცირებით ენერგობლოკის სინქრონული განტვირთვის (ორთქლგენერატორისა და ტურბინის ერთდროული განტვირთვა) ან, კიდევ, ტურბინის ბაიპასირების (რედუქციული გამაცივებელი მოწყობილობის გამოყენება) გზით. სხვა

მეთოდები გამოიყენება იშვიათად, მხოლოდ აუცილებლობის შემთხვევაში, დანადგარების მწარმოებლისგან მიღებული ოფიციალური ნებართვების საფუძველზე.

მაგრამ, ბოლო პერიოდში მზის თბოელექტროსადგურების ტექნოლოგიაში მიღწეულმა პროგრესმა გააჩინა ახალი შესაძლებლობა ტრადიციული თეს-ების მანევრულობის გაუმჯობესებისთვის. ესაა მაღალტემპერატურული თბოსაცავების გამოყენება, რაც მრავალმხრივ უნდა იქნეს მოსინჯული და გამოკვლეული ტრადიციული ენერგობლოკების სქემებში მათი ჩართვისა და მუშაობის რეჟიმების კლასის გაფართოების მიმართულებით.

### დასკვნა

საბაზისო თეს-ებით ელექტროსისტემის სიმძლავრის რეგულირებისთვის საჭიროა ენერგობლოკების გადატვირთვის და განტვირთვის ისეთი მეთოდების, რეჟიმებისა და სქემების შემუშავება, რომლებისთვისაც მინიმალურია მქ კოეფიციენტის გაუარესება ნომინალური სიმძლავრისგან გადახრილ პირობებში. ამასთანავე, ეკონომიკურად ოპტიმალური გადაწყვეტილების მისაღებად საჭიროა ელექტროენერჯიის იმპორტირების ღირებულების შედარება ადგილობრივი თეს-ებით მიღებული ელექტროენერჯიის ღირებულებასთან სიმძლავრის ფორსირების რეჟიმებში.

### ლიტერატურა

1. Mikiashvili, T., Chkhaidze, B., Jishkariani, T., Kiguradze, O., Arabidze G. (2020). Grid Power Daily Regulation by Combined-Cycle Power Plant. *International Journal of Energy Management*, 2(4);
2. Mikiashvili, T., Chagmelashvili, N. (2021). New Unloading Possibilities of Gas Turbine Combined Cycle Power Generating Units. *Works of GTU*, 2(250);
3. Mikiashvili, T. (2020). *Powerplant technology*. (In Georgian).

UDC 621.31-21

SCOPUS CODE 2102

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2022-2-81-87>

## Power System Capacity Regulation by Using the Basic Thermal Power Plans

- Temur Mikiashvili** Department of Thermal Energy and Energy Efficiency, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 77, M. Kostava str.  
E-mail: temurmikiashvili@yahoo.com
- Omar Kighuradze** Department of Thermal Energy and Energy Efficiency, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 77, M. Kostava str.  
E-mail: kiguradzeomar@gmail.com
- Baadur Chkhaidze** Department of Thermal Energy and Energy Efficiency, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 77, M. Kostava str.  
E-mail: bchkhaidze@yahoo.com

### Reviewers:

**T. Museliani**, Professor, Faculty of Energy, GTU

E-mail: museliani@yahoo.com

**M. Razmadze**, Professor, Faculty of Energy, GTU

E-mail: marina.razmadze30@mail.ru

**Abstract.** In the electricity systems, which have a large share of seasonal hydropower plants in the total production of electricity and do not have a developed structure of maneuvering power units running on organic fuels, it is necessary to use basic power plants to regulate the system capacity (load) on a daily basis.

For the optimal solution of this task, the authors of the article have proposed a formula by which it is possible to estimate the monetary costs in different scenarios of power system management. It takes into account the pricing of electricity generated by imported and locally generated thermal power plants and sets out the main requirements for the efficiency and regulation range of thermal power plants, the satisfaction of which saves funds at the expense of reducing electricity imports.

**Keywords:** combined; cycle; equipment; power generating; power grid; power system; unloading.

*განხილვის თარიღი 16.03.2022*

*შემოსვლის თარიღი 22.03.2022*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 06.06.2022*